



(10) **DE 10 2006 012 817 B4** 2017.10.12

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 012 817.6**  
(22) Anmeldetag: **21.03.2006**  
(43) Offenlegungstag: **04.10.2007**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **12.10.2017**

(51) Int Cl.: **H01L 49/00 (2006.01)**  
**H01L 31/10 (2006.01)**  
**H01S 4/00 (2006.01)**  
**H01Q 9/16 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**BATOP GmbH, 99425 Weimar, DE**

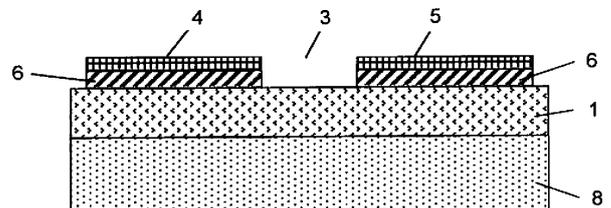
(72) Erfinder:  
**Hohmuth, Rico, 07745 Jena, DE; Richter,  
Wolfgang, 99425 Weimar, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

<b>WO</b>	<b>2005/0 01 505</b>	<b>A1</b>
<b>WO</b>	<b>2006/0 47 975</b>	<b>A1</b>
<b>JP</b>	<b>2002-3 68 250</b>	<b>A</b>

(54) Bezeichnung: **Photoleitender Terahertz-Emitter**

(57) Hauptanspruch: Photoleitender Terahertz-Emitter zur Erzeugung hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung im Terahertz-Bereich unter Verwendung kurzer Laserpulse, deren Photonenenergie größer ist als die elektronische Bandlücke der photoleitfähigen halbleitenden Schicht, bestehend aus einem photoleitfähigen Halbleiter (1) und einer darauf angeordneten elektrisch leitfähigen Antennenstruktur (2) mit einer Lücke (3), welche diese Antennenstruktur in zwei Teile (4, 5) teilt, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem photoleitfähigen Halbleiter (1) und der darauf angeordneten elektrisch leitfähigen Antennenstruktur (2) eine Schicht (6) aus elektrisch schlecht leitendem Material angeordnet ist.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen photoleitenden Emitter zur Erzeugung von Terahertz-Strahlung.

**[0002]** Terahertz-Strahlung ist elektromagnetische Strahlung im Frequenzbereich von etwa 0,1 bis 100 THz. Da es im Frequenzbereich der Terahertz-Strahlung Molekülschwingungen unterschiedlicher Substanzen gibt, kann mittels Absorptionsspektroskopie im Terahertz-Bereich die Untersuchung von Substanzen erfolgen und auch der Nachweis bestimmter chemischer Verbindungen geführt werden. So können beispielsweise Objekte im Terahertz-Bereich abgebildet werden (siehe beispielsweise EP 0 828 162 A2) oder tomographisch untersucht werden (siehe beispielsweise EP 0 864 857 A1). Da Terahertz-Strahlung dielektrische Stoffe Papier oder Textilien gut durchdringt, können auch Objekte innerhalb von Verpackungen geortet werden. Es gibt daher sowohl ein wissenschaftliches, ein ökonomisches und auch ein sicherheitsrelevantes Interesse an kostengünstigen und effizienten Emittlern für Terahertz-Strahlung.

**[0003]** Es ist bekannt, dass Terahertz-Strahlung mit photoleitenden Antennen (englisch PCA – photoconductive antenna) unter Verwendung ultrakurzer Lichtpulse mit Pulsdauern  $\leq 1$  ps sowohl erzeugt als auch nachgewiesen werden kann (US 5 789 750 A). Eine photoleitende Terahertz-Antenne besteht im Wesentlichen aus einer hochohmigen halbleitenden Schicht mit einer kurzen Relaxationszeit der Ladungsträger im Bereich einer Pikosekunde, die auf einem ebenfalls hochohmigen Substrat aufgebracht ist und auf der eine elektrisch leitende Antennenstruktur beispielsweise in der Form eines Dipols mit einer Lücke als Unterbrechung im Zentrum des Dipols angeordnet ist. Zur Emission oder zum Nachweis von Terahertz-Strahlung wird die Halbleiterschicht in der Lücke der Antenne mit kurzen Laserpulsen bestrahlt. Die Photonenenergie der Laserpulse ist dabei größer als die elektronische Bandlücke der halbleitenden Schicht, so dass das Laserlicht in der halbleitenden Schicht absorbiert wird und bewegliche Ladungsträger erzeugt. Zur Emission von Terahertz-Strahlung wird an der Dipol-Antenne eine Spannung angelegt. Dadurch entsteht in der Lücke der Antenne ein elektrisches Feld, dem die durch den optischen Puls erzeugten freien Ladungsträger folgen. In der Beschleunigungsphase der Ladungsträger wird elektromagnetische Strahlung im Terahertz-Bereich emittiert. Wegen der geringen Relaxationszeit der Ladungsträger wird der entstandene elektrische Strom anschließend wieder gestoppt, was dazu führt, dass unerwünschte niederfrequenterer Strahlung im Gigahertz-Bereich nur in geringem Maße entsteht.

**[0004]** Als photoleitfähiges Material können Halbleiter wie GaAs und Si verwendet werden (US Patent 5 729 017 A). Es werden photoleitfähige Schich-

ten mit einer geringen Rekombinationszeit der Ladungsträger möglichst im Femtosekunden-Bereich benötigt, um eine schnelle Response der Antenne zu gewährleisten. Diese kurze Rekombinationszeit wird beispielsweise durch das Aufwachsen einer GaAs- oder InGaAs-Schicht auf einem semiisolierendem GaAs-Substrat bei niedrigen Temperaturen im Bereich von 200°C bis 300°C erreicht. In der Patentschrift GB 2 393 037 A wurde gezeigt, dass es nach der Niedrigtemperatur-Epitaxie von GaAs-Schichten zweckmäßig ist, die photoleitfähige Schicht bei einer Temperatur von etwa 450°C nachzutempeln, um einerseits einen hohen elektrischen Schichtwiderstand und andererseits eine hohe Ladungsträgerbeweglichkeit zu erreichen.

**[0005]** Auf der photoleitfähigen Schicht wird eine elektrisch leitfähige Antennenstruktur mit einer Lücke von typischerweise 5  $\mu\text{m}$  bis 10  $\mu\text{m}$  Länge aufgebracht, um die zur Beschleunigung der Ladungsträger erforderliche Spannung an der Antennenstruktur anlegen zu können. Als Material für die elektrisch leitfähige Antennenstruktur können Metalle wie Gold, Silber, Kupfer oder deren Legierungen, metallische Schichtsysteme wie Ti-Pd-Au, Ti-Pt-Au, Ti-Ni-Ag, Silicide oder dotiertes Poly-Si verwendet werden. In den Patentschriften GB 2 392 779 A und GB 2 409 337 A wurde gezeigt, dass es zweckmäßig ist, bei Sendantennen für die Kontaktelemente der Antennenstruktur besonders hochohmige Schichten wie beispielsweise Indium-Zinn-Oxid zu verwenden, um den Anteil hochfrequenter Terahertz-Strahlung zu Ungunsten niederfrequenter Anteile zu erhöhen und um eine größere Lebensdauer der Antenne zu erreichen. Mit diesen hochohmigen Kontakten wird erreicht, dass nach dem optischen Puls nicht noch über eine längere Zeit Ladungsträger aus der Antennenstruktur in großem Umfang nachgeliefert werden können.

**[0006]** Obwohl durch diese Erfindung bereits eine wesentliche Verschiebung der spektralen Emission zu höheren Frequenzen und eine Vergrößerung der Lebensdauer der Antenne erreicht werden konnte, besitzt sie folgende Nachteile:

Erstens muss ein Kompromiss bezüglich des Widerstandes der Kontaktelektrode derart gefunden werden, dass einerseits an den Photoleiter eine Spannung zur Ausbildung eines elektrischen Feldes angelegt wird und andererseits das Nachfließen von Elektronen aus der leitfähigen Antennenstruktur in die photoleitende Schicht weitgehend vermieden wird. Dieser Kompromiss ist in der Patentschrift GB 2 392 779 A erläutert. Er führt zu einer Bedingung zwischen der Repetitionsfrequenz des Lasers und dem Kontaktwiderstand bei vorgegebener Kapazität der Anordnung, die sich aus der Geometrie der Antennenanordnung ergibt. Dadurch, dass der Kontaktwiderstand entsprechend dieser Kompromisse nicht beliebig groß gewählt werden kann, ist ein Nachflie-

ßen von Ladungsträgern aus den Elektroden in den Photoleiter nicht völlig zu meiden.

**[0007]** Zweitens ist es gemäß der Patentschrift GB 2 392 779 A erforderlich, die leitfähige Antennenstruktur aus zwei verschiedenen Materialien herzustellen, wobei zwei aufeinander folgende Strukturierungsprozesse erforderlich sind. Dadurch erhöhen sich die Herstellungskosten der Antenne. Es wird ein besser elektrisch leitfähiges Material für die Zuleitungen und ein schlechter elektrisch leitfähiges Material für die Kontakte an der Lücke der Antenne benötigt.

**[0008]** In der Patentschrift WO 2005/001505 A1 wird ein Terahertz-Emitter beschrieben, der das Terahertz-Signal zunächst in eine Übertragungsleitung einspeist, bevor es von einer Antenne abgestrahlt emittiert wird. Auch dieser Emitter besteht aus einer photoleitfähigen Halbleiterschicht und einer darauf befindlichen Metallstruktur mit einer Lücke. Die photoleitfähige Halbleiterschicht wird gleichzeitig als Wellenleiter für das anregende Laserlicht verwendet. Zur Unterstützung der Wellenleitung des Laserlichts ist unter der photoleitfähigen Halbleiterschicht eine weitere Halbleiterschicht mit einer geringeren Brechzahl als Cladding-Schicht angeordnet. Das oben geschilderte Problem eines länger nachfließenden elektrischen Stroms nach dem optischen Puls wird aber durch diese Anordnung auch nicht gelöst.

**[0009]** Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen photoleitenden Terahertz-Emitter anzugeben, in dem das Nachfließen von Ladungsträgern aus den Kontakten in den Photoleiter vermieden wird und bei dem die Antenne aus einer einheitlichen Metallstruktur aufgebaut ist.

**[0010]** Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch den photoleitenden Terahertz-Emitter gemäß Patentanspruch 1 gelöst. Der photoleitende Terahertz-Emitter besteht entsprechend dem Stand der Technik aus einem photoleitfähigen Halbleiter und einer darauf angeordneten elektrisch leitfähigen Antennenstruktur mit einer Lücke, die diese Antennenstruktur in zwei Teile teilt. Der photoleitfähige Halbleiter wird mit kurzen Laserpulsen bestrahlt, deren Photonenenergie größer ist als die elektronische Bandlücke der photoleitfähigen halbleitenden Schicht. Erfindungsgemäß ist zwischen dem photoleitfähigen Halbleiter und der darauf angeordneten elektrisch leitfähigen Antennenstruktur eine Schicht aus elektrisch schlecht leitendem Material angeordnet. Diese elektrisch schlecht leitende Schicht verhindert ein Nachfließen von Ladungsträgern aus der elektrisch leitfähigen Antennenstruktur in den photoleitfähigen Halbleiter.

**[0011]** Um eine große Kapazität des Kondensators zwischen der Antennenstruktur und der photoleitfähigen Halbleiterschicht zu erreichen, ist der Einsatz eines elektrisch schlecht leitenden Materials mit ei-

ner großen Dielektrizitätskonstanten gemäß Unteranspruch 2 vorteilhaft.

**[0012]** Da der Bereich in der Lücke der Antennenstruktur mit intensiven Laserpulsen bestrahlt wird, kann es gemäß Unteranspruch 3 von Vorteil sein, elektrisch schlecht leitendes Material mit einer großen Dielektrizitätskonstanten nicht im Bereich der Lücke, sondern nur unter der elektrisch leitfähigen Antennenstruktur anzubringen. Solche Materialien besitzen meist eine geringere Laserfestigkeit als extrem hochohmige Materialien mit kleiner Dielektrizitätskonstanten. Technisch kann die dazu erforderliche Strukturierung der Isolatorschicht dadurch erreicht werden, dass sie zusammen mit der Antennenstruktur durch Liften oder Ätzen strukturiert wird.

**[0013]** Weitere zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen 4 bis 6 angegeben, in denen bezüglich der Wahl des Materials für die elektrisch schlecht leitende Schicht Vorschläge unterbreitet werden. Metalloxide und insbesondere Titandioxid sind geeignete Materialien, die als dünne Schicht hergestellt werden können. Es kann auch zweckmäßig sein, die elektrisch schlecht leitende Schicht als optische Entspiegelungsschicht auszuführen, wobei auch Schichtsysteme aus zwei verschiedenen Materialien denkbar sind.

**[0014]** Weiterhin kann es gemäß Unteranspruch 7 vorteilhaft sein, im Bereich der Lücke der Antennenstruktur über dem photoleitfähigen Halbleiter ein optisches Entspiegelungsschichtsystem aufzubringen, die das Eindringen des Laserlichtes in den Halbleiter verbessert.

**[0015]** Der erfindungsgemäße photoleitende Terahertz-Emitter zur Erzeugung hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung im Terahertz-Bereich wird nachfolgend an Hand von drei Ausführungsbeispielen näher erläutert.

**[0016]** In den zugehörigen Zeichnungen zeigen

**[0017]** Fig. 1a die Aufsicht auf ein erstes Ausführungsbeispiel des photoleitenden Terahertz-Emitters

**[0018]** Fig. 1b den Schnitt A-A in Fig. 1a zu dem ersten Ausführungsbeispiel des photoleitenden Terahertz-Emitters

**[0019]** Fig. 2a die Aufsicht auf das zweite Ausführungsbeispiel des photoleitenden Terahertz-Emitters

**[0020]** Fig. 2b den Schnitt A-A in Fig. 2a zum zweiten Ausführungsbeispiel des photoleitenden Terahertz-Emitters

**[0021]** Fig. 3a die Aufsicht auf ein drittes Ausführungsbeispiel des photoleitenden Terahertz-Emitters

**[0022]** Fig. 3b den Schnitt A-A in Fig. 3a zum dritten Ausführungsbeispiel des photoleitenden Terahertz-Emitters

**[0023]** In Fig. 1a und Fig. 1b ist das erste Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen photoleitenden Terahertz-Emitters dargestellt. Eine photoleitfähige Halbleiterschicht **1** aus GaAs mit einer Dicke von  $1\ \mu\text{m}$  ist auf einem semi-isolierenden GaAs-Substrat **8** bei niedriger Temperatur aufgewachsen. Auf der Halbleiterschicht **1** ist eine  $50\ \text{nm}$  dicke elektrisch schlecht leitende Schicht **6** aus Titandioxid aufgebracht. Auf dieser elektrisch schlecht leitenden Schicht **6** ist die elektrisch leitende Antennenstruktur **2** mit beiden Teilen **4** und **5** aufgebracht, die durch eine Lücke **3** der Breite von  $5\ \mu\text{m}$  getrennt sind. Die Antennenstruktur **2** besteht aus einem Metallschichtsystem Ti-Pt-Au mit einer Dicke von  $300\ \text{nm}$ . Die Titandioxid Schicht **6** und die Antennenstruktur **2** wurden gemeinsam durch Liften einer unter diesen Schichten befindlichen Photolackstruktur strukturiert. Da die Laserfestigkeit von Titanoxid nicht so hoch ist, wird durch die Unterbrechung der Titandioxid-Schicht in der Lücke **3** deren Bestrahlung vermieden.

**[0024]** Titandioxid ist ein n-Halbleiter mit einer geringen Beweglichkeit der Ladungsträger von etwa  $0,1\ \text{cm}^2/\text{Vs}$ . Demzufolge ist der spezifische elektrische Widerstand mit  $10^{-3}\ \Omega\text{m}$  um etwa 5 Zehnerpotenzen größer als der von gut leitfähigen Metallen wie Gold. Der elektrische Widerstand der Schicht **6** aus Titandioxid beträgt etwa  $10\ \Omega$ . Ohne Beleuchtung der photoleitfähigen Halbleiterschicht **1** aus GaAs besitzt diese keine frei beweglichen Ladungsträger und ist daher sehr hochohmig. Ihr spezifischer elektrischer Widerstand beträgt im unbeleuchteten Zustand etwa  $105\ \Omega\text{m}$ , was zu einem Schichtwiderstand von über  $100\ \text{M}\Omega$  führt. Die zwischen den beiden Teilen **4**, **5** der Antennenstruktur **2** angelegte Betriebsspannung von  $20\ \text{V}$  liegt nahezu komplett über der photoleitfähigen GaAs-Schicht **6**. Die Kapazität dieser Schicht unter der Lücke **3** kann mit etwa  $10^{-15}\ \text{F}$  abgeschätzt werden. Die Kapazität der beiden Kondensatoren, die durch die elektrisch schlecht leitende Schicht **6** aus Titandioxid zwischen der photoleitfähigen GaAs-Halbleiterschicht **1** und den Teilen **4** und **5** der Antennenstruktur **2** gebildet werden, kann mit einer Fläche von  $5\ \mu\text{m} \times 5\ \mu\text{m}$  zu etwa  $8 \cdot 10^{-14}\ \text{F}$  abgeschätzt werden. Die Kapazität wird außer durch diese Geometrie auch durch die relativ große Dielektrizitätskonstante des Titandioxids von etwa 8 bestimmt. Auf den in Reihe geschalteten Kondensatoren unter der Antennenstruktur befindet ohne Laserbestrahlung sich fast keine Ladung.

**[0025]** Wird die photoleitfähige GaAs-Halbleiterschicht **1** im Bereich der Lücke **3** mit einem Laserpuls der Wellenlänge von  $800\ \text{nm}$  bestrahlt, so entstehen durch optische Absorption frei bewegliche Ladungsträger (Elektronen und Löcher), die unter dem

Einfluss des anliegenden elektrischen Feldes von etwa  $40\ \text{kV/cm}$  kurzzeitig verschoben werden und die beiden Kondensatoren laden. Der dabei entstehende Stromstoß führt infolge der Beschleunigung der Ladungsträger zur Emission elektromagnetischer Strahlung im Terahertz-Bereich. Der elektrische Widerstand der photoleitfähigen Halbleiterschicht **6** unter der Lücke beträgt während der Beleuchtung etwa  $10\ \text{m}\Omega$ . Nach dem Verschieben der frei beweglichen Ladungsträger wird der Strom wieder gestoppt, wenn die beiden Kondensatoren geladen sind und das elektrische Feld in der photoleitfähigen GaAs-Halbleiterschicht **1** zusammengebrochen ist. Ein Nachfließen des Stromes aus der Antennenstruktur **2** ist nicht möglich wegen der dazwischen liegenden schlecht leitenden Titandioxid-Schicht **6** mit der geringen Ladungsträgerbeweglichkeit. Demzufolge ist durch den erfindungsgemäßen Aufbau des Terahertz-Emitters gewährleistet, dass der Strom nach dem Laserpuls abrupt abbricht und keine niederfrequenten, sondern hauptsächlich hochfrequente Anteile im Terahertz-Bereich des elektromagnetischen Spektrums emittiert werden. Die bei niedriger Temperatur gewachsene GaAs-Schicht besitzt viele Rekombinationszentren für die Ladungsträger, so dass diese im Zeitbereich weniger Pikosekunden nach dem Laserpuls wieder rekombinieren und die Kondensatoren entladen. Die Antennenstruktur **2** kann mit einem einzigen Strukturierungsschritt kostengünstig gefertigt werden.

**[0026]** In Fig. 2a und Fig. 2b ist das zweite Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen photoleitenden Terahertz-Emitters entsprechend dem Unteranspruch 6 dargestellt. Wie im ersten Ausführungsbeispiel ist eine photoleitfähige Halbleiterschicht **1** aus GaAs mit einer Dicke von  $1\ \mu\text{m}$  auf einem semi-isolierenden GaAs Substrat **8** bei niedriger Temperatur aufgewachsen. Auf der Halbleiterschicht **1** ist eine  $100\ \text{nm}$  dicke elektrisch schlecht leitende Schicht **6** aus Tantalpentoxid aufgebracht. Auf dieser Schicht **6** ist die elektrisch leitfähige Antennenstruktur **2** mit beiden Teilen **4** und **5** aufgebracht, die durch eine Lücke **3** der Breite von  $5\ \mu\text{m}$  getrennt sind. Die Antennenstruktur **2** besteht aus einem Metallschichtsystem Ti-Pt-Au mit einer Dicke von  $300\ \text{nm}$ . Die Funktion des Emitters ist im Wesentlichen die gleiche wie im ersten Ausführungsbeispiel. Unterschiede bestehen darin, dass die schlecht leitende Schicht **6** aus Tantalpentoxid besteht und dass diese nicht strukturiert ist, so dass sie vom Laser bestrahlt wird. Da der Brechungsindex von Tantalpentoxid etwa 2 beträgt, wirkt diese Schicht **6** für den Laserstrahl entspiegelnd. Der Laserstrahl kann nahezu ohne Reflexionsverluste in die photoleitfähige Halbleiterschicht **6** aus GaAs eindringen und dort eine große Zahl von Ladungsträgern erzeugen. Dadurch fließt ein größerer Strom und es entsteht eine größere Amplitude der Terahertz-Strahlung.

**[0027]** In Fig. 3a und Fig. 3b ist ein drittes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen photoleitenden Terahertz-Emitters entsprechend dem Unteranspruch 7 dargestellt. Der Emitter besitzt nahezu den gleichen Aufbau wie im zweiten Ausführungsbeispiel. Eine photoleitende Halbleiterschicht **1** aus GaAs mit einer Dicke von 1 µm ist auf einem semi-isolierenden GaAs-Substrat **8** bei niedriger Temperatur aufgewachsen. Auf der Halbleiterschicht **1** ist eine 122 nm dicke schlecht leitende Schicht **6** aus Tantalpentoxid aufgebracht. Auf dieser isolierenden Schicht **6** ist die elektrisch leitfähige Antennenstruktur **2** mit beiden Teilen **4** und **5** aufgebracht, die durch eine Lücke **3** der Breite von 5 µm getrennt sind. Die Antennenstruktur **2** besteht aus einem Metallschichtsystem Ti-Pt-Au mit einer Dicke von 300 nm. Als oberste Schicht ist eine optisch transparente Schicht **7** aus 208 nm Siliziumdioxid aufgebracht, die zusammen mit der darunter liegenden Schicht **6** aus Tantalpentoxid für die Laserwellenlänge von 800 nm die photoleitfähige Halbleiterschicht **1** aus GaAs entspiegelt. Dadurch wird die Reflexion der Laserstrahlung am Emitter komplett vermieden und bei Beleuchtung ein großer Strom sowie eine intensive Terahertz-Strahlung erzeugt. Außerdem verhindert die Schicht **7** mögliche Kriechströme zwischen den beiden Teilen **4**, **5** der Antennenstruktur **2**.

#### Bezugszeichenliste

- 1** photoleitfähiger Halbleiter
- 2** elektrisch leitfähige Antennenstruktur
- 3** Lücke
- 4** Teil der Antennenstruktur **2**
- 5** Teil der Antennenstruktur **2**
- 6** Schicht aus elektrisch schlecht leitendem Material
- 7** optisch transparente Schicht
- 8** isolierendes Substrat

#### Patentansprüche

1. Photoleitender Terahertz-Emitter zur Erzeugung hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung im Terahertz-Bereich unter Verwendung kurzer Laserpulse, deren Photonenenergie größer ist als die elektronische Bandlücke der photoleitfähigen halbleitenden Schicht, bestehend aus einem photoleitfähigen Halbleiter (**1**) und einer darauf angeordneten elektrisch leitfähigen Antennenstruktur (**2**) mit einer Lücke (**3**), welche diese Antennenstruktur in zwei Teile (**4**, **5**) teilt, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen dem photoleitfähigen Halbleiter (**1**) und der darauf angeordneten elektrisch leitfähigen Antennenstruktur (**2**) eine Schicht (**6**) aus elektrisch schlecht leitendem Material angeordnet ist.

2. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schicht (**6**) aus dem elektrisch

schlecht leitenden Material aus einem dielektrischen Material mit großer Dielektrizitätskonstante besteht.

3. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schicht (**6**) aus dem elektrisch schlecht leitenden Material so strukturiert ist, dass sie nur unter der elektrisch leitfähigen Antennenstruktur (**2**) und nicht in der Lücke (**3**) vorhanden ist.

4. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schicht (**6**) aus dem elektrisch schlecht leitenden Material aus einem oder mehreren Metalloxiden besteht.

5. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schicht (**6**) aus dem elektrisch schlecht leitenden Material aus Titandioxid besteht.

6. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schicht (**6**) aus dem elektrisch schlecht leitenden Material auch im Bereich der Lücke (**3**) vorhanden ist und eine optische Entspiegelungsschicht für den darunter liegenden photoleitfähigen Halbleiter (**1**) bei der Wellenlänge des anregenden Laserlichtes bildet.

7. Anordnung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Bereich der Lücke (**3**) eine optisch transparente Schicht (**7**) über dem photoleitfähigen Halbleiter (**1**) mit der Schicht (**6**) angebracht ist, welche die zwei Teile (**4**, **5**) der Antennenstruktur (**2**) überlappt.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1a

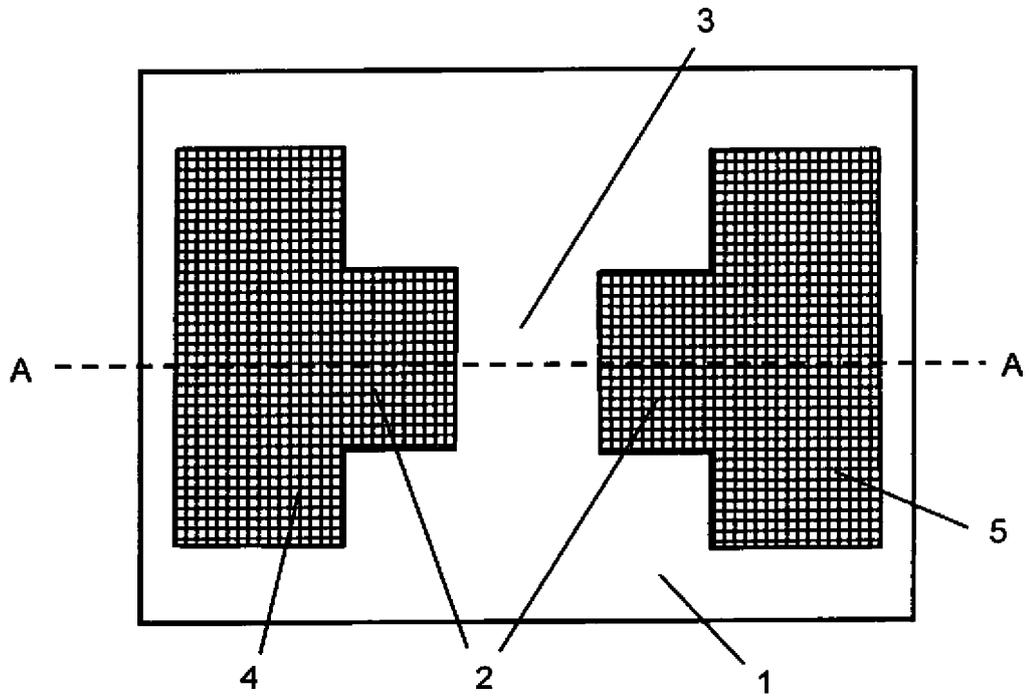
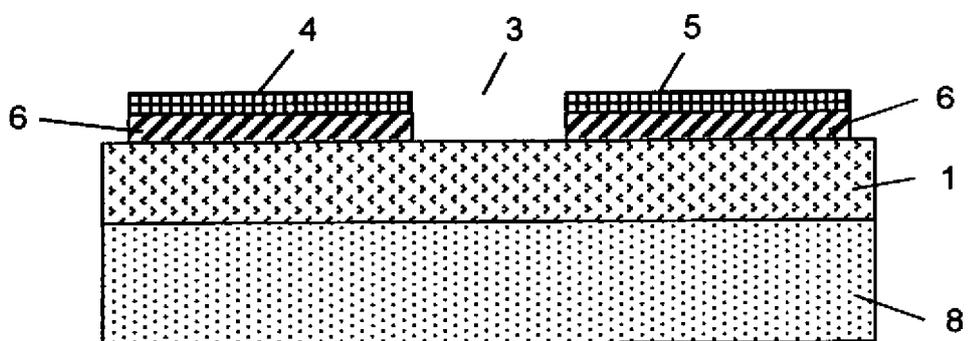
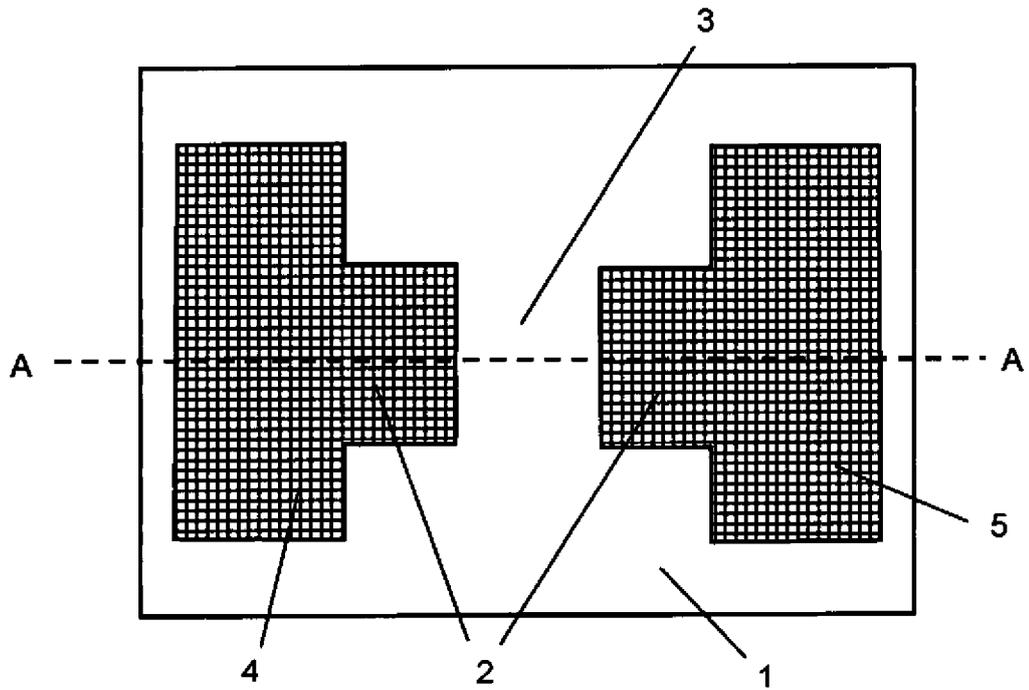


Fig. 1b



**Fig. 2a**



**Fig. 2b**

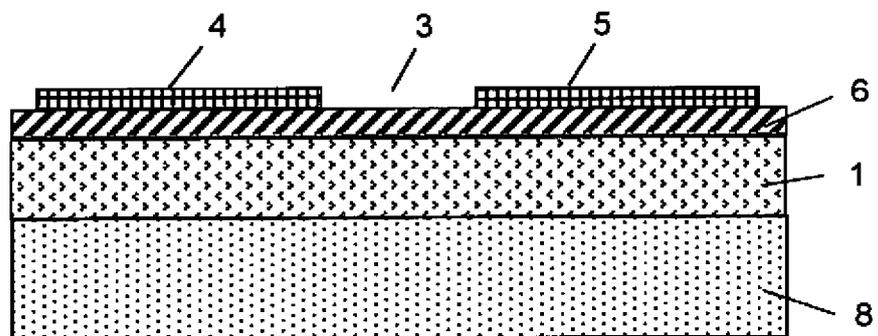


Fig. 3a

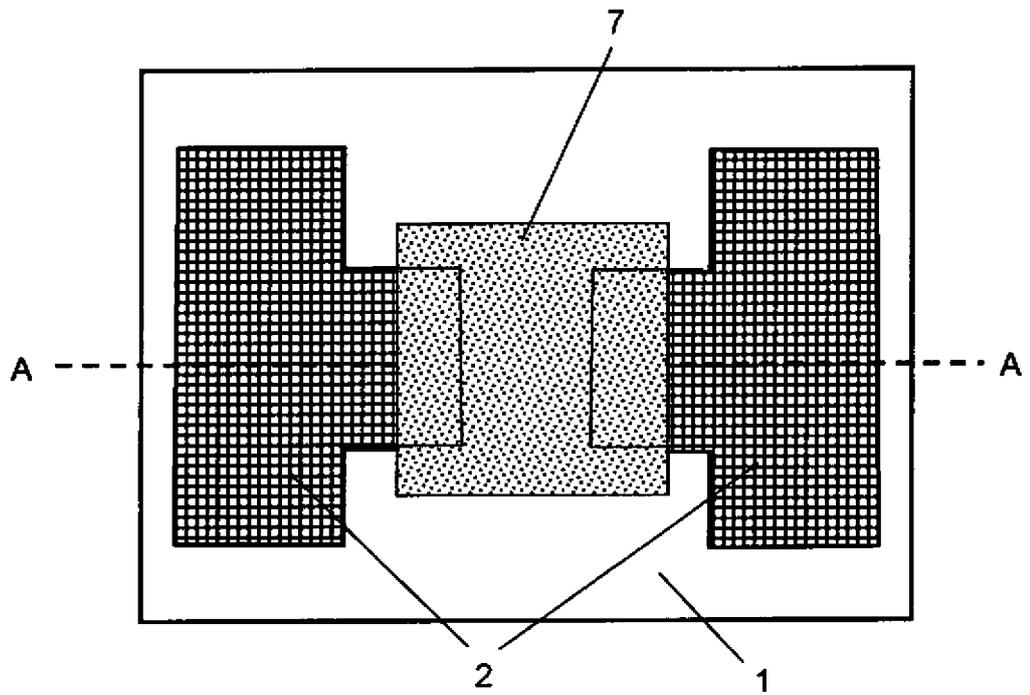


Fig. 3b

